

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КЫЗЫЛКУМСКОГО РЕГИОНА ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ**

*И.П. Бибик, Российская Федерация*

*Ю.Д. Норов, Ш.Ш. Заиров, А.Б. Тухташев, Навоийский государственный горный  
институт, Республика Узбекистан*

На карьерах Кызылкумского региона проведены опытно-промышленные работы по управлению взрывной подготовкой горных пород. Разработан алгоритм управления эффективными параметрами буровзрывных работ по критерию качества взорванной горной массы на открытых разработках, дающий возможность проводить постоянный мониторинг оптимизации параметров буровзрывных работ, а также изыскать дополнительные резервы по повышению производительности горно-транспортного оборудования и снижению себестоимости добычи полезного ископаемого. Разработан состав и способ получения термосодержащего вещества, безопасное при длительном хранении и транспортировке, обладающее увеличенной мощностью взрыва за счет повышения скорости детонации горючих веществ.

Традиционная технология ведения буровзрывных работ на глубоких горизонтах карьеров Кызылкумского региона исчерпала свои возможности, поэтому необходимо внедрение более прогрессивных способов, предусматривающих обеспечение в полной мере заданное качество дробления горной массы, повышение устойчивости откосов бортов карьеров, применение взрывчатых веществ с использованием дешевых компонентов и др.

Месторождения Кызылкумского региона характеризуются сложным строением рудных тел, высокой изменчивостью содержаний полезных компонентов, крутыми углами падения и невыдержанной мощностью рудных тел. Такая изменчивость существенно влияет на эффективность добычи полезных ископаемых, значительно усложняя выбор технологических параметров буровзрывных работ. В то же время, с увеличением глубины разработки до предельно экономически целесообразной величины повышается обводненность и трещиноватость горных пород, растет влияние глубины карьера на сопротивляемость руд взрывному разрушению и повышаются требования к сохранности бортов.

Управление эффективными параметрами буровзрывных работ направлено на повышение производительности горнотранспортного оборудования, снижение себестоимости добычи полезного ископаемого и базируется, прежде всего, на выборе типа взрывчатых материалов и параметров буровзрывных работ, при этом в роли оценки выступает критерий качества взорванной горной массы.

Проведенные опытно-промышленные взрывные работы на карьерах Кызылкумского региона в совокупности с корректировкой карты категорийности пород по буримости позволили районировать породы по рекомендуемым параметрам буровзрывных работ и разработать типовые конструкции скважинных зарядов и параметры буровзрывных работ для имеющихся типов забоев [1-3].

Тем не менее, для управления качеством дробления взорванной горной массы необходим постоянный мониторинг оптимизации параметров буровзрывных работ, определяющих технико-экономические показатели основных технологических процессов. Известные математические модели расчета среднего диаметра куска горной массы и методы проектирования параметров буровзрывных работ с учетом их физико-механических свойств не позволяют получать оптимальное качество дробления горной массы в связи с отсутствием методов управления параметрами буровзрывных работ на основе средств оперативной оценки состояния среды до взрыва и гранулометрического состава. Кроме того, средний диаметр куска не является однозначной характеристикой гранулометрического состава горной массы [4], что обуславливает дополнительные ошибки при составлении алгоритма

управления технологическими процессами.

Анализ влияния изменений параметров буровзрывных работ на производительность горно-транспортного оборудования и себестоимость добычи полезного ископаемого можно определить на основе алгоритма управления параметрами, который предусматривает: оперативный контроль прочностных свойств взрывааемых пород и их качество дробления; выбор эффективных параметров буровзрывных работ на основе математического описания кусковатости; сравнение полученного качества дробления горной массы с прогнозируемым и корректировку параметров буровзрывных работ для последующих взрывов в идентичных условиях по установленным отклонениям.

Главным условием реализации данного алгоритма является необходимость создания средств оперативного контроля основных характеристик взрывааемых горных пород и их гранулометрического состава, а также разработка математической модели управления эффективными параметрами буровзрывных работ.

Одними из основных характеристик массива взрывааемых горных пород являются крепость и трещиноватость. Для определения этих характеристик по буримости пород проведены хронометражные наблюдения работы буровых станков, а также лабораторные исследования кернового материала и образцов горных пород, отобранных с наиболее характерных участков месторождения. Анализ полученной информации позволил определить механическую скорость бурения в зависимости от физико-механических и технических параметров [5]:

$$v_{\text{бур}} = \frac{k_0 \sqrt{Pn}}{f^2 \sqrt{d}}, \quad (1)$$

где  $v_{\text{бур}}$  – механическая скорость бурения, м/ч;  $P$  – осевое усилие на долото, Н;  $n$  – частота вращения бурового става,  $\text{с}^{-1}$ ;  $f$  – крепость горных пород;  $d$  – диаметр долота, мм;  $k_0$  – коэффициент пропорциональности.

Для составления технико-экономической функции буровзрывного комплекса выполнен статистический анализ работы буровых станков, расхода и типа применяемых взрывчатых веществ.

Установлено, что распределение времени производительной работы станков подчиняется нестационарному пуассоновскому потоку. При этом сменная производительность буровых станков определялась по формуле:

$$P_{\text{б.с}} = 0,12 \cdot 10^6 k_u T_{\text{см}} v_{\text{бур}}, \quad \text{м/смену}, \quad (2)$$

где  $T_{\text{см}}$  – продолжительность смены;  $k_u$  – коэффициент использования бурового станка, определяемый как средняя интенсивность пуассоновского потока:

$$k_u = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \lambda(u) du, \quad (3)$$

где  $\lambda(u)$  – функция мгновенной интенсивности данного потока, зависит от технического состояния станка, качества его обслуживания и степени эксплуатации.

Необходимое число машино-смен для обурирования блока определялось, исходя из его объема и объема участка, приходящегося на одну скважину:

$$N_{\text{м-см}} = \frac{V_{\text{бл}} f^2 V_{\text{бур}} \sqrt{d}}{30 \cdot 10^3 \pi k_u T_{\text{см}} k_0 \sqrt{Pn}}, \quad (4)$$

где  $V_{\text{бур}}$  – объем скважины, отнесенный к объему блока, приходящегося на пробуренную скважину;  $V_{\text{бл}}$  – объем блока взрывааемых пород.

Себестоимость буровых работ определялась с учетом стоимости машино-смены станков и их числа. Себестоимость взрывных работ устанавливалась в зависимости от стоимости применяемого типа и удельного расхода взрывчатых веществ, стоимости вторичного дробления и других видов затрат. Последние определялись по затратам на выполнение подготовительных работ, конструкций зарядов и удельных расходов взрывчатых веществ.

Технико-экономическая функция стоимости комплекса буровзрывных работ имеет

следующий вид:

$$Z_{БВР} = C_{М-СМ} N_{М-СМ} + [1 + (0,83 \cdot 10^{-6} V_{\text{бл}} - 0,01) \cdot \sqrt{q}] C_{ВВ} + C \left[ 1 - \int_0^{hb} f(x) dx \right], \quad \text{сум/м}^3, \quad (5)$$

где  $C_{М-СМ}$  – стоимость машино-смены буровых работ, сум;  $q$  – удельный расход взрывчатых веществ, кг/м<sup>3</sup>;  $C_{ВВ}$  – стоимость взрывчатых веществ, сум;  $C$  – стоимость вторичного дробления, сум/м<sup>3</sup>;  $hb$  – максимальный размер кондиционного куска горной массы, мм;  $f(x)$  – функция распределения гранулометрического состава.

Фракционное распределение наиболее достоверно моделируется следующей двухпараметрической функцией [6]:

$$f(x) = \frac{1\Delta}{\sigma x_{\max}^{\gamma}} x^{\gamma} \exp \left[ - \left( \frac{x}{x_{\max}} \right)^{\gamma} \right], \quad (6)$$

где  $\sigma$  – ширина принятого интервала фракции, мм;  $x_{\max}$  и  $\Delta$  – параметры, характеризующие соответственно размер и содержание преобладающей фракции;  $\gamma$  – нормирующий множитель,  $\gamma = (0,0275\Delta + 0,0005)x_{\max}$ .

Выбранные параметры жестко связывают содержание остальных фракций в конечном объеме горной массы и являются представительными для характеристики качества дробления горных пород взрывом. Данная функция учитывает влияние гранулометрического состава на технологические процессы при определении их технико-экономических показателей.

Технико-экономическая функция погрузочно-транспортных работ определялась на основе статистического анализа информации о затратах рабочего времени на экскавацию горной массы при различной интенсивности ее дробления.

Преобразовывая зависимость процесса экскавации взорванной горной массы с учетом производительности выемочно-погрузочного оборудования и гранулометрического состава процесс экскавации при временных затратах принял вид:

$$\Pi_{\gamma} = \frac{60 \cdot V_{\kappa} \cdot n \cdot k_{\text{м}}}{T_{\text{ц}} \cdot k_{\text{р}}} k_{\text{и}} \cdot \left[ 1 - \frac{2,1 \cdot 10^{-6} \Delta e}{6 V_{\kappa} x_{\max}^{\gamma}} \int_0^{hb} x^{\gamma+2} e^{-\left(\frac{x}{x_{\max}}\right)^{\gamma}} dx \right], \quad \text{м}^3/\text{см}, \quad (7)$$

где  $V_{\kappa}$  – вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>;  $n$  – число циклов в минуту;  $k_{\text{м}}$  – коэффициент наполнения ковша;  $T_{\text{ц}}$  – время цикла, мин;  $k_{\text{р}}$  – коэффициент разрыхления горной массы в ковше;  $k_{\text{и}}$  – коэффициент использования экскаваторов, учитывающий потери рабочего времени, определяемые качеством дробления горной массы.

Производительность автомобильного транспорта определялась с учетом его простоев под погрузкой. Затраты на погрузочно-транспортные работы при различном качестве дробления определялись исходя из потребного числа машино-смен средств погрузки транспорта и их стоимости:

$$Z_{\text{н.тр}} = \frac{C'_{М-СМ} (0,24\Delta + 0,29) 10^{-3} x_{\max} k_{\text{р}}}{\Pi_{\gamma}} + \text{сум/м}^3, \quad (8)$$

$$+ \frac{C''_{М-СМ}}{T_{\text{см}} Q_a k'_{\text{и}}} \left( \frac{Q_a}{\Pi_{\gamma} \gamma_B k_u} + \sum_{i=1}^n t_i \right),$$

где  $C'_{М-СМ}$  – стоимость машино-смены экскавации, сум;  $C''_{М-СМ}$  – стоимость машино-смены работы автотранспорта, сум;  $\gamma_{\text{в}}$  – плотность транспортируемых пород, т/м<sup>3</sup>;  $Q_a$  – грузоподъемность автосамосвалов, т;  $k'_{\text{и}}$  – коэффициент использования автосамосвала, определяющий потери рабочего времени, не связанные с фракционным составом горной массы;  $\sum_{i=1}^n t_i$  – время рейса автосамосвала за вычетом времени погрузки, ч.

Изменение себестоимости первой стадии механического дробления от гранулометрического состава взорванной горной массы определялось на основе известных зависимостей и функции распределения фракционного состава в объеме горной массы  $f(x)$ :

$$Z_{op} = \frac{1}{Al^{Bd_{cp}} + C}, \text{ где } A, B, C - \text{коэффициенты, полученные эмпирическим путем;}$$

$d_{cp}$  – размер среднего куска взорванной горной массы,

$$d_{cp} = \frac{10^{-2} \Delta e^{hb}}{x_{\max}^{\gamma} \sigma} \int_0^{x_{\max}} x^{\gamma+1} e^{-\left(\frac{x}{x_{\max}}\right)^{\gamma}} dx. \quad (9)$$

Основой алгоритма управления эффективными параметрами буровзрывных работ послужила технико-экономическая функция основных технологических процессов:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} \rightarrow \min, \text{ при } ab = \varphi(Q_{zap} g_{byp}), g = \psi(x_{\max}, \Delta, f). \quad (10)$$

Вышеперечисленные формулы позволили разработать компьютерную программу алгоритма управления эффективными параметрами буровзрывных работ с выводением результатов выбора оптимальных решений вариантов по минимуму суммарных затрат на добычу и переработку полезного ископаемого. В целом алгоритм представляет собой схему действий по сбору необходимой информации, ее математической обработке, решению экономико-математической модели, прогнозированию, сравнению полученных результатов и принятию решения по корректировке параметров буровзрывных работ для последующих взрывов.

Таким образом, проведенные опытно-промышленные работы по управлению взрывной подготовкой пород позволили повысить качество дробления породного массива, а разработанный алгоритм управления эффективными параметрами буровзрывных работ по критерию качества горной массы на открытых разработках дал возможность постоянного мониторинга оптимизации параметров буровзрывных работ, а также изыскать дополнительные резервы по повышению производительности горно-транспортного оборудования и снижению себестоимости добычи полезного ископаемого.

Для условий карьеров Кызылкумского региона разработан состав и способ получения термосодержащего вещества [7] с использованием компонентов из местного сырья, обладающего повышенной энергией взрыва, безопасного при хранении и транспортировке, пригодного к использованию в обводненных условиях. При данном способе дробленную и гранулированную аммиачную селитру, углеводородное горючее и дополнительно-активированный резиновый порошок перемешивают при следующем соотношении компонентов, масс. %:

активированное жидкое углеводородное горючее	3,5-6,5
дробленная аммиачная селитра	30
активированный резиновый порошок	2
гранулированная аммиачная селитра	61,5-64,5

При получении термосодержащего вещества производят дробление аммиачной селитры, ее смешивание с гранулированной аммиачной селитрой, углеводородным горючим, резиновым порошком и их перемешивание до однородной массы. Добавку, в качестве которой дополнительно используют резиновый порошок, подвергают активации путем воздействия электромагнитного поля частотой 200-1000 Гц при плотности потока электронов  $D=4,37 \cdot 10^{17}$  эл/м<sup>2</sup>сек при давлении 40-50 МПа и температуре 80-100<sup>0</sup>С.

Использование в термосодержащем веществе перечисленных компонентов в указанном соотношении позволяет придать ему стабильность и улучшенную восприимчивость инициирующему импульсу. Положительное влияние высокодисперсного резинового порошка обосновывается его высокой калорийностью (11000 ккал/кг), температурой сгорания (1800-2100<sup>0</sup>С), высокой адсорбционной способностью, например, 1 кг

высокодисперсного резинового порошка поглощает до 2 кг жидкого углеводородного горючего, при этом взрывчатое вещество остается сыпучим и сохраняет стабильность и безопасность при хранении и транспортировке. С другой стороны, жидкое углеводородное горючее, поглощенное резиновым порошком, под воздействием упругих сил резины находится под высоким давлением, достигающим  $9,8 \cdot 10^4$  МПа. При таком давлении увеличивается мощность взрыва за счет повышения скорости детонации горючих веществ. Активация резинового порошка и других компонентов с приложением высокого давления со сдвиговой деформацией и электромагнитного поля приводит к значительному высвобождению свободных радикалов и образованию активных центров, что, в свою очередь, также способствует повышению энергии и мощности взрыва. Известно, что при сгорании резины образуется 44% твердых продуктов (углерод, сера, цинк и др.), 17,7% жидких горючих веществ и 26,2% газов ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_3H_6$ ,  $C_4H_6$ ,  $C_9H_{10}$ ), которые сами по себе являются компонентами термосодержащего вещества, теплота сгорания которых доходит до  $50 \text{ МДж/м}^3$  и которые значительно повышают работу взрыва.

В качестве порошка резины используют отработанные автомобильные или тракторные покрышки. В качестве жидкого углеводородного топлива могут быть использованы дизельное топливо, печное топливо, керосин, отработанные масла.

Использование предлагаемого состава и способа позволяет получить термосодержащее вещество, безопасное при длительном хранении и транспортировке, обладающее при этом повышенными детонационными свойствами. Кроме того, предлагаемый состав термосодержащего вещества обладает более низкой себестоимостью за счет замены дорогостоящей алюминиевой пудры резиновым порошком, полученным путем измельчения отработанных покрышек.

Для исключения отказов при проведении взрывов зарядов уменьшенного диаметра, а также для обеспечения максимального энерговыделения при взрыве заряда необходимо соблюдать условие:

$$d_{\text{зар}} > 2d_{\text{кр}}, \quad (11)$$

где  $d_{\text{зар}}$  – диаметр заряда термосодержащего вещества;  $d_{\text{кр}}$  – критический диаметр детонации термосодержащего вещества.

Критический диаметр детонации зависит от относительной плотности термосодержащего вещества ( $\rho_{\text{отн}}$ ), которая в свою очередь зависит от гидростатического давления, т.е. от расстояния ( $H$ ) от забоя скважины до дневной поверхности.

С учетом вышесказанного необходимо провести дополнительную проверку возможности применения на взрывааемых скважинах термосодержащего вещества.

С этой целью первоначально определяют максимальную возможную плотность взрывчатого вещества конкретного химического состава, т.е. удельный вес ( $\rho_{\text{max}}$ ). Затем задается значение начальной плотности термосодержащего вещества, т.е. плотность при атмосферном давлении ( $\rho^0$ ). После этого рассчитывается начальная относительная плотность термосодержащего вещества ( $\rho^0_{\text{отн}} = \rho^0 / \rho_{\text{max}}$ ).

При наклонных скважинах с учетом угла наклона скважины рассчитывается значение относительной плотности термосодержащего вещества на глубине  $H$ , м ( $\rho^H_{\text{отн}}$ ):

$$\rho^H_{\text{отн}} = \rho^0_{\text{отн}} H^{0,25642(1-\rho_{\text{отн}})} \quad (12)$$

Используя полученное значение  $\rho^H_{\text{отн}}$ , рассчитывают величину критического диаметра детонации  $d^H_{\text{кр}}$ , мм, термосодержащего вещества, находящегося на забое скважины, по формуле:

$$d^H_{\text{кр}} = 5,18 + \exp[-14,051 + 52,235 \rho^H_{\text{отн}}], \text{ мм}, \quad (13)$$

Таким образом, разработанный состав и способ позволило получить термосодержащее вещество безопасное при длительном хранении и транспортировке, обладающее увеличенной мощностью взрыва за счет повышения скорости детонации горючих веществ. Кроме того, состав термосодержащего вещества обладает более низкой себестоимостью за счет замены дорогостоящей алюминиевой пудры резиновым порошком, полученным путем

измельчения отработанных покрышек.

#### Список литературы

1. Бибик И.П., Норов Ю.Д., Заиров Ш.Ш. Управление эффективными параметрами буровзрывных работ по критерию качества взорванной горной массы // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2009. – №1. – С. 60-6
2. Сытенков В.Н., Бибик И.П., Коломников С.С. Результаты опытно-промышленных работ по уточнению параметров БВР на руднике Мурунтау // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2007. – №
3. Бибик И.П., Ивановский Д.С., Рахманов Р.А. Повышение эффективности взрывного рыхления разнопрочных массивов при разработке Джерой-Сардаринского месторождения фосфоритов // Горный журнал. – Москва, 2008. – №8.
4. Кубачек В.Р., Касьянов П.А. Оценка кусковатости горной массы при исследовании режимов нагружения одноковшовых экскаваторов // Изв. вузов. Горный журнал. – Екатеринбург. – №1. – С. 92-96.
5. Крысин Р.С., Щербаков П.Н. и др. Разработка рациональных параметров буровзрывных работ на карьере Днепропетровского горно-обогатительного комбината // В сб.: Реферативная информация о законченных НИР в вузах Украины. –Киев: Высшая школа, 197 – С. 110.
6. Крысин Р.С., Щербаков П.Н., Ткаченко В.М. К вопросу исследования зависимости производительности одноковшовых экскаваторов от гранулометрического состава горной массы // В сб.: Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог, 1978. – Вып. 25. – С. 63-67.
7. Норов Ю.Д., Заиров Ш.Ш., Саттаров У.Б. Разработка состава и способа получения термосодержащего вещества, обладающего повышенными детонационными свойствами // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2013. – №2. – С. 30-32.